

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 35 447.2

Anmeldetag: 02. August 2002

Anmelder/Inhaber: Rohde & Schwarz GmbH & Co KG, München/DE

Bezeichnung: Elektronischer Schalter

IPC: H 03 K 17/042

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 25. Juni 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Dzierzon", is placed over the typed name of the President.

Dzierzon

## Elektronischer Schalter

Die Erfindung betrifft einen elektronischen Schalter mit einem Feldeffekt-Transistor FET. Der elektronische  
5 Schalter dient zum schnellen Schalten breitbandiger und hochfrequenter Signale großer Amplitudendynamik.

Elektronische Schalter werden beispielsweise in der Hochfrequenztechnik für Dämpfungsglieder mit geschalteten  
10 Dämpfungsstufen verwendet. Hierzu werden zumeist Feldeffekt-Transistoren (FET) in Serienschaltung oder, für sehr hochfrequente und breitbandige Anwendungen, Metall-Halbleiter-Feldeffekt-Transistoren (MESFET), verwendet.  
15 Die Bandbreite beträgt beispielsweise 1 GHz bis mehrere 10 GHz. Üblicherweise werden n-Kanal-MESFET auf Gallium-Arsenid-Basis verwendet.

Ein solcher elektronischer Schalter ist beispielsweise aus der US 5,107,152 bekannt. Die dort offenbarte Schaltung  
20 versucht mit Hilfe einer zum Steuereingang in Reihe geschalteten Diode das Niederfrequenz-Großsignal-Verhalten, welches wesentlich von Spannungsabfällen über den kapazitiven Anteil der Source-Gate-Strecke bzw. der Drain-Gate-Strecke bestimmt wird, des elektronischen  
25 Schalters zu verbessern.

Nachteilig bei dem aus der US 5,107,152 hervorgehenden elektronischen Schalter ist, daß durch die Diode die Umschaltzeiten des elektrischen Schalters wesentlich  
30 verlängert werden. Außerdem wirkt die Diode nur in einem der zwei Schaltzustände des elektronischen Schalters.

Zur Verbesserung des Niederfrequenz-Großsignal-Verhaltens sind weitere Maßnahmen denkbar. So kann beispielsweise der  
35 Gate-Vorwiderstand vergrößert werden, wobei auch dadurch die Umschaltzeiten deutlich verlängert werden. Letztlich kann auch die Abschnürspannung (Pinch-off-Spannung) der Feldeffekt-Transistoren durch Veränderung des Herstellungsprozesses erhöht werden, wobei hier

insbesondere bei Metall-Halbleiter-Feldeffekt-Transistoren (MESFET), bedingt durch ihre in Sperrrichtung betriebenen wenig spannungsfesten Metall-Halbleiterkontakte, enge Grenzen gesetzt sind.

5

Es ist daher Aufgabe der Erfindung einen elektronischen Schalter aufzuzeigen, welcher unabhängig von den Eigenschaften des zu schaltenden Signals den gewollten Schaltzustand schnell und sicher einnimmt und hält.

10

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen elektronischen Schalter mit den kennzeichnenden Merkmalen in Verbindung mit den gattungsgemäßen Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

15

Erfindungsgemäß wird das zu schaltende Signal vor dem elektronischen Schalter rückwirkungsfrei ausgekoppelt und dem Steuersignal in zumindest einem der zwei möglichen Schaltzustände des elektronischen Schalters überlagert.

20

Vorteilhafte Weiterbildungen gehen aus den Unteransprüchen hervor.

25

Durch die Bildung des Steuersignals in einer Umsetzeinrichtung mit einem Verstärkungsfaktor, welcher bevorzugt 1 beträgt, kann der Einfluß des zu schaltenden Signals auf das zu steuernde Signal besonders vorteilhaft an die Eigenschaften der in dem elektronischen Schalter verwendeten Bauteile angepaßt werden.

30

Durch die Ausführung der Umsetzeinrichtung mit einer hohen Eingangsimpedanz und einer geringen Ausgangsimpedanz, läßt sich das zu schaltende Signal rückwirkungsfrei auskoppeln.

35

Die Umsetzeinrichtung läßt sich mit Feldeffekt-Transistoren aufbauen, welche vorteilhaft auch als Metall-Halbleiter-Feldeffekt-Transistor mit n-Kanal (n-MESFET) ausgeführt sein können.

Wird die Schalteinrichtung, welche die beiden Schaltzustände herbeiführt, mit Feldeffekt-Transistoren oder Metall-Halbleiter-Feldeffekt-Transistoren (MESFET) mit n-Kanal auf Basis von Silizium oder Gallium-Arsenid 5 auf einem Halbleiterchip realisiert, lässt sich der elektronische Schalter bzw. die Schalteinrichtung besonders einfach aufbauen. Zudem sind so besonders geringe Schaltzeiten bzw. Reaktionszeiten realisierbar und die Schalteinrichtung lässt sich mit anderen Bauteilen des 10 elektronischen Schalters gemeinsam auf einem Halbleiterchip aufbauen.

Vorteilhaft können die beiden Schaltzustände herbeigeführt werden, indem, veranlaßt durch die Schalteinrichtung, 15 entweder eine erste Gleichspannung oder das Korrektursignal auf den Steueranschluß gelegt wird. Das Korrektursignal wirkt damit nur in einem der zwei möglichen Schaltzustände. Weiterhin ist es vorteilhaft den EIN-Zustand (ON) durch Verbinden des Steueranschlusses mit 20 dem Korrektursignal herbeizuführen und die erste Gleichspannung kleiner bzw. negativer zu wählen als die Abschnürspannung (Pinch-off-Spannung) des ersten Feldeffekt-Schalt-Transistors.

25 Vorteilhaft ist es jedoch, wenn während beider Schaltzustände das Korrektursignal auf den Steueranschluß wirkt und zum Herbeiführen der beiden Schaltzustände das Korrektursignal mit jeweils einer ersten oder zweiten Gleichspannung überlagert wird. In dieser Weise wird 30 sowohl im EIN-Zustand (ON) als auch im AUS-Zustand (OFF) eine Verbesserung des Niederfrequenz-Großsignal-Verhaltens des elektronischen Schalters erreicht. Besonders vorteilhaft ist es zudem, die erste Gleichspannung kleiner bzw. negativer als die Abschnürspannung (Pinch-off- 35 Spannung) des Feldeffekt-Schalt-Transistors, und die zweite Spannung so groß wie das Bezugspotential zu wählen. Dabei wird vorteilhafterweise der EIN-Zustand (ON) durch Aufschaltung bzw. Aufaddierung der zweiten Gleichspannung und der AUS-Zustand (OFF) durch Aufschaltung bzw.

Aufaddierung der ersten Gleichspannung auf das Korrektursignal, welches ständig mit dem Steueranschluß verbunden ist, herbeigeführt.

5 Der Stand der Technik und vereinfachte Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. In den Figuren sind übereinstimmende Bauteile mit übereinstimmenden Bezugszeichen versehen. Die in den  
10 Beispielen gezeigten Feldeffekt-Transistoren sind alle als selbstleitende n-Kanal-Metall-Halbleiter-Feldeffekt-Transistoren (n-MESFET) auf Gallium-Arsenid-Basis ausgeführt, wobei die Ausführungsbeispiele auch mit Feldeffekt-Transistoren (n-MESFET) anderen Typs und  
15 anderer Halbleitermaterialien realisiert werden können. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 einen elektronischen Schalter mit Feldeffekt-Schalt-Transistor gemäß Stand der Technik,  
20 Fig. 2 das Wechselstrom-Ersatzschaltbild eines elektronischen Schalters mit Feldeffekt-Schalt-Transistor,  
25 Fig. 3 das Prinzipschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen elektronischen Schalters mit Feldeffekt-Schalt-Transistor,  
30 Fig. 4 das Prinzipschaltbild eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen elektronischen Schalters mit Feldeffekt-Schalt-Transistor,  
35 Fig. 5 eine schematische Darstellung einer schaltungstechnischen Realisierung des ersten Ausführungsbeispiels von Fig. 3,

Fig. 6 eine schematische Darstellung einer schaltungstechnischen Realisierung des zweiten Ausführungsbeispiels von Fig. 4 und

5 Fig. 7 eine schematische Darstellung einer schaltungstechnischen Realisierung des erfindungsgemäßen elektronischen Schalters mit einem Operationsverstärker.

10 Fig. 1 zeigt einen elektronischen Schalter 1 mit einem Feldeffekt-Transistor Q1 gemäß dem Stand der Technik. Der Feldeffekt-Transistor Q1 weist einen über einen ersten Widerstand RG mit einem Steueranschluß Con verbundenen Gateanschluß G, einen mit einem Eingang In verbundenen Sourceanschluß S und einen mit einem Ausgang Out verbundenen Drainanschluß D auf. Ein am Steueranschluß Con anliegendes Steuersignal  $V_c$ , welches in diesem Beispiel zwei verschiedene Gleichspannungswerte annehmen kann, steuert den Schaltzustand des elektronischen Schalters 1.  
 15  
 20 Die Gleichspannungswerte werden beispielsweise durch eine in Fig. 1 nicht dargestellte Schalteinrichtung  $S_w$  verändert. Üblicherweise beträgt einer der zwei Gleichspannungswerte 0V, bezogen auf ein gemeinsames Bezugspotential Gr. Bei in der Mikrowellentechnik  
 25 bevorzugten selbstleitenden n-Kanal-Metall-Halbleiter-Feldeffekt-Transistoren, stellt diese Spannung den EIN-Zustand ON her. Im EIN-Zustand ON schaltet der Feldeffekt-Transistor Q1 ein am Eingang In anliegendes zu schaltendes Signal  $V_{in}$  auf den Ausgang Out durch. Das zu schaltende  
 30 Signal  $V_{in}$  tritt dann am Ausgang Out als geschaltetes Signal  $V_{out}$  auf. Der AUS-Zustand OFF wird durch Anlegen einer Gleichspannung an den Steuereingang Con geschaltet, die kleiner als der dem Feldeffekt-Transistor Q1 eigenen Abschnürspannung (Pinch-off-Spannung) sein muß. In dem  
 35 gezeigten Beispiel ist die Spannung des Steuersignals  $V_c$  für den Aus-Zustand OFF kleiner bzw. negativer als die Abschnürspannung. Insbesondere bedingt durch die Metall-Halbleiter-Sperrsicht, welche schon bei geringen Spannungen durchbricht, darf die Spannung des

Steuersignals  $V_c$  für den AUS-Zustand OFF die Abschnürspannung nur um einen verhältnismäßig geringen Wert unterschreiten.

5 Der Eingang In des elektronischen Schalters in Fig. 1 ist über einen Widerstand  $Z_s$  mit einer Signalquelle  $V_s$  verbunden. Der Ausgang Out ist über einen Lastwiderstand  $Z_L$  mit dem gemeinsamen Bezugspotential  $G_r$  verbunden.

10 Fig. 2 zeigt ein Wechselstrom-Ersatzschaltbild eines elektronischen Schalters 1, wie er in Fig. 1 dargestellt ist. Eine erste und zweite Kapazität  $C_1, C_2$  repräsentieren die zwischen dem Drain-Source-Kanal und dem Gateanschluß G auftretenden Kapazitäten. Der Widerstand  $Z$  stellt den 15 Widerstand des Drain-Source-Kanals zwischen dem Sourceanschluß S und dem Drainanschluß D dar. Der mit dem Gateanschluß G verbundene Widerstand  $R_G$  bildet zusammen mit den Kapazitäten  $C_1, C_2$  einen frequenzabhängigen Spannungsteiler für das am Sourceanschluß S anliegende zu 20 schaltende Signal  $V_{in}$ .

Die Funktionsweise ist wie folgt:

Im EIN-Zustand ON sei das Steuersignal  $V_c$  gleich 0 Volt. Der Transistor Q1 ist leitend. Bei entsprechend niedriger 25 Frequenz und entsprechender Polarität und Amplitude des Momentanwertes des zu schaltenden Signals  $V_{in}$  kann der negative Spannungsabfall über den Kapazitäten  $C_1, C_2$  betragsmäßig so groß werden, daß die über den Kapazitäten  $C_1, C_2$  abfallende negative Spannung betragsmäßig größer 30 wird als die Abschnürspannung (Pinch-off-Spannung) des Feldeffekt-Transistors Q1. Der Transistor Q1 wechselt so, nur aufgrund des Signalverlaufs des zu schaltenden Signals  $V_{in}$ , in den AUS-Zustand OFF. Andererseits kann die über den Kapazitäten  $C_1, C_2$  abfallende Spannung das beim AUS- 35 Zustand OFF an den Steuereingang Con angelegte Steuersignal  $V_c$  soweit kompensieren, daß der elektronische Schalter 1 in den EIN-Zustand ON wechselt. Beide Vorgänge sind unerwünscht und führen einerseits dazu, daß das zu schaltende Signal  $V_{in}$  nicht vollständig übertragen wird

(Clipping) oder es im AUS-Zustand OFF zu unerwünschten Signaleinstreuungen kommt.

Fig. 3 zeigt das Prinzipschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen elektronischen Schalters 1 mit dem Feldeffekt-Transistor Q1. Der Feldeffekt-Transistor Q1 ist in diesem Ausführungsbeispiel als selbstleitender n-Kanal-Metall-Halbleiter-Feldeffekt-Transistor auf Gallium-Arsenid-Basis ausgeführt. Der Sourceanschluß S und der Drainanschluß D sind wie in der Fig. 1 beschaltet. Zwischen Eingang In und Sourceanschluß S wird das zu schaltende Signal Vin ausgekoppelt und an eine Umsetzeinrichtung A geführt. Die Umsetzeinrichtung A weist eine kleine Ausgangsimpedanz und eine große Eingangsimpedanz auf, womit das zu schaltende Signal Vin rückwirkungsfrei ausgekoppelt wird. Die Umsetzeinrichtung A weist in diesem Ausführungsbeispiel einen Spannungs-Verstärkungsfaktor v von etwa 1 auf und erzeugt ein Korrektursignal Sc, welches ausgangsseitig der Umsetzeinrichtung A an die Schalteinrichtung Sw geführt ist. Eine erste, in diesem Ausführungsbeispiel negative Gleichspannung V1, deren Wert beispielsweise -6 Volt beträgt, ist ebenfalls an die Schalteinrichtung Sw geführt. Weiterhin ist die Schalteinrichtung Sw mit dem Steueranschluß Con verbunden, welcher über den Widerstand RG mit dem Gateanschluß G verbunden ist.

Der EIN-Zustand ON wird dadurch hergestellt, daß die Schalteinrichtung Sw das Korrektursignal Sc auf den Steueranschluß Con legt bzw. schaltet. Der AUS-Zustand OFF wird durch Schalten der ersten Gleichspannung V1 auf den Steueranschluß Con erwirkt. Die Schalteinrichtung Sw ist in Form eines Umschalters ausgeführt der jeweils entweder nur das Korrektursignal Sc oder die erste Gleichspannung V1 auf den Steueranschluß Con schaltet.

Bedingt durch das während des EIN-Zustandes ON am Steueranschluß Con anliegende Korrektursignal Sc kann sich keine Spannungsdifferenz zwischen Gateanschluß G und

Sourceanschluß S aufbauen, womit der EIN-Zustand ON sicher gehalten wird. Die Bandbreite der Umsetzeinrichtung A muß nur für den Frequenzbereich bemessen werden, in dem die Admittanz der in Fig. 2 gezeigten Kapazitäten C1, C2 klein 5 gegenüber dem Leitwert von RG ist. Die Schalteinrichtung SW kann leicht elektronisch realisiert werden. Die Umsetzeinrichtung A kann ebenfalls aus n-Kanal-Metall-Halbleiter-Feldeffekt-Transistoren aufgebaut sein.

10 Fig. 4 zeigt ein zweites erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel, ähnlich dem Ausführungsbeispiel von Fig. 3. Im Unterschied zu dem in Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiel ist zwischen der Umsetzeinrichtung A und dem Steueranschluß Con ein Signaladdierer LS 15 angeordnet, welcher mit der Schalteinrichtung Sw verbunden ist. Die Schalteinrichtung Sw ist weiterhin mit einer zweiten Gleichspannung V2 und mit der ersten Gleichspannung V1 verbunden. Die zweite Gleichspannung V2 beträgt in diesem Ausführungsbeispiel 0 Volt, was durch 20 eine direkte Verbindung mit dem Bezugspotential Gr erreicht wird. Im EIN-Zustand ON verbindet die Schalteinrichtung Sw das Bezugspotential Gr mit dem Signaladdierer LS. Im AUS-Zustand OFF wird die in diesem Ausführungsbeispiel negative Gleichspannung V1 auf den 25 Signaladdierer LS geschaltet. Im EIN-Zustand ON wird somit die zweite Gleichspannungen V2 und im AUS-Zustand OFF die erste Gleichspannung V1 dem Korrektursignal Sc überlagert und auf den Steuereingang Con geführt. Für den EIN-Zustand ON gleicht somit die Korrekturspannung Sc der Spannung des 30 zu schaltenden Signals Vin. Für den AUS-Zustand OFF entspricht die Spannung des Steuersignals Vc der mit dem Korrektursignal Sc addierten ersten Gleichspannung V1, wobei die erste Gleichspannung V1 in diesem Ausführungsbeispiel kleiner bzw. negativer als die 35 Abschnürspannung (Pinch-off-Spannung) des Feldeffekt-Transistors Q1 ist. Durch den in Fig. 4 gezeigten erfindungsgemäßen elektronischen Schalter 1 wird somit eine Verbesserung des Betriebsverhaltens im EIN-Zustand ON und im AUS-Zustand OFF erreicht.

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung einer schaltungstechnischen Realisierung des ersten Ausführungsbeispiels von Fig. 3, wobei der Steueranschluß 5 Con mit dem Sourceanschluß S2 eines zweiten Feldeffekt-Transistors Q2 und mit dem Drainanschluß D3 eines dritten Feldeffekt-Transistors Q3 verbunden ist. Der Gateanschluß G3 und der Sourceanschluß S3 des dritten Feldeffekt-Transistors Q3 sind mit einer gemeinsamen fünften Spannung 10 V5 verbunden, welche in diesem Ausführungsbeispiel kleiner bzw. negativer ist als das Bezugspotential Gr. Der Gateanschluß G2 des zweiten Feldeffekt-Transistors Q2 ist über einen Vorwiderstand RG1, welcher zur Begrenzung des Stromes über den Schottkykontakt zwischen Gateanschluß G2 15 und Drainanschluß D2 des zweiten Feldeffekt-Transistors Q2 dient und beispielsweise 10 kOhm beträgt, mit dem Eingang In und dem Sourceanschluß S des ersten Feldeffekt-Transistors Q1 verbunden. Der Drainanschluß D2 des zweiten Feldeffekt-Transistors Q2 ist über die Schalteinrichtung 20 Sw wahlweise mit einer in diesem Ausführungsbeispiel zu dem Bezugspotential Gr positiven dritten Spannung V3 oder negativen vierten Spannung V4 verbunden. Die Außenbeschaltung des Eingangs In und Ausgangs Out, sowie des Source-, Gate- und Drainanschlusses S, G, D des ersten Feldeffekt-Transistors Q1 ist wie in den vorangegangenen 25 Beispielen. Der zweite und dritte Feldeffekt-Transistor Q2, Q3 weisen in diesem Ausführungsbeispiel gleiche elektrische Kennlinien auf. Für eine Integration kann der zweite und dritte Feldeffekt-Transistor Q2, Q3 in seinen 30 geometrischen Abmessungen gegenüber dem Transistor Q1 sehr klein gewählt werden, beispielsweise nur 1 x 20  $\mu\text{m}$ .

Im EIN-Zustand ON ist die dritte Spannung V3 durch die Schalteinrichtung Sw auf den Drainanschluß D2 des zweiten Feldeffekt-Transistors Q2 geschaltet, wobei der zweite Feldeffekt-Transistor Q2 damit einen Sourcefolger mit aktiver Last, welche durch den dritten Feldeffekt-Transistor Q3 realisiert ist, bildet. Durch die direkte Verbindung des Gateanschlusses G3 und des Sourceanschlusses

S3 des dritten Feldeffekt-Transistors Q3 wird der dritte Feldeffekt-Transistor Q3 im Stromquellenbereich betriebenen und es fließt ein Sättigungsstrom von beispielsweise 6 mA. Auf diese Weise folgt das am 5 Sourceanschluß S2 des zweiten Feldeffekt-Transistors Q2 anliegende Steuersignal Vc dem zu schaltenden Signal Vin ohne Potentialverschiebung.

Im AUS-Zustand OFF ist die vierte Spannung V4 durch die 10 Schalteinrichtung Sw auf den Drainanschluß D2 des zweiten Feldeffekt-Transistors Q2 geschaltet. Das am Sourceanschluß S2 des zweiten Feldeffekt-Transistors Q2 auftretende Steuersignal Vc nimmt in dieser Weise im AUS-Zustand OFF einen festen negativen Wert an.

Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung einer schaltungstechnischen Realisierung des zweiten Ausführungsbeispiels in Fig. 4, wobei der Steueranschluß Con mit dem Drainanschluß D3 des dritten Feldeffekt-Transistors Q3 und mit dem ersten Pol eines ersten Widerstandes R1 verbunden ist. Der zweite Pol des ersten Widerstandes R1 ist mit dem Sourceanschluß S2 des zweiten Feldeffekt-Transistors Q2 verbunden. Der Drainanschluß D2 des zweiten Feldeffekt-Transistors Q2 ist mit einer 25 sechsten Gleichspannung V6 verbunden, während sein Gateanschluß G2 mit dem Eingang In und dem Sourceanschluß G des ersten Feldeffekt-Transistors Q1 verbunden ist. Eine siebte Gleichspannung V7 ist auf den Gateanschluß G3 des dritten Feldeffekt-Transistors Q3, einen ersten Pol eines zweiten Widerstands R2 und auf die Schalteinrichtung Sw geführt. Die Schalteinrichtung Sw ist andererseits mit einem ersten Pol eines dritten Widerstands R3 verbunden. Der zweite Pol des dritten Widerstands R3 ist mit dem zweiten Pol des zweiten Widerstands R2 gemeinsam auf den 30 Sourceanschluß S3 des dritten Feldeffekt-Transistors Q3 geführt.

Die Außenbeschaltung des Eingangs In und Ausgangs Out, sowie des Source-, Gate- und Drainanschlusses (S, G, D) des

ersten Feldeffekt-Transistors Q1 ist wie in den vorangegangenen Beispielen ausgeführt. Der zweite und dritte Feldeffekt-Transistor Q2, Q3, sowie der erste und zweite Widerstand R1, R2 weisen in diesem

5 Ausführungsbeispiel gleiche elektrische Kennlinien auf.

In diesem Ausführungsbeispiel ist die sechste Gleichspannung V6 positiv zum Bezugspotential Gr und die siebte Gleichspannung V7 negativ zum Bezugspotential Gr.

10

Der dritte Feldeffekt-Transistor Q3 bildet mit dem zweiten Widerstand R2 eine Stromquelle mit einem Drainstrom, der kleiner ist als der Sättigungsstrom. Die Schalteinrichtung Sw ist im EIN-Zustand ON geöffnet und schaltet im AUS-

15

Zustand OFF den dritten Widerstand R3 parallel zu dem zweiten Widerstand R2. Durch den unmittelbar an der siebten Gleichspannung V7 angeschlossenen Gateanschluß G3 des dritten Feldeffekt-Transistors Q3 hängt der Drainstrom des dritten Feldeffekt-Transistors Q3 bei konstanter

20

Spannung über der Drain-Source-Strecke des dritten Feldeffekt-Transistors Q3 nur vom Widerstandswert des zweiten Widerstands R2 bzw. dem Ersatzwiderstandswert der parallel geschalteten Widerstände R2 und R3 ab. Im EIN-

25

Zustand ON, also bei geöffneter Schalteinrichtung Sw, liegt am Steuereingang Con, das vom zu schaltenden Signal Vin nachgebildete Korrektursignal Sc ohne eine überlagerte Gleichspannung an. Das Steuersignal Vc entspricht in diesem Fall dem Korrektursignal Sc. Im AUS-Zustand OFF wird das am Steuereingang Con herrschende Potential der

30

negativen siebten Spannung V7 angenähert, wobei Spannungsschwankungen am Eingang In weiterhin zur Bildung eines Korrektursignals Sc führen. Das Korrektursignal Sc wird also von einer negativen Gleichspannung überlagert. Diese negative Gleichspannung ist vorzugsweise so groß,

35

wie die Abschnürspannung (Pinch-off-Spannung) des ersten Feldeffekt-Transistors Q1. Diese Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verbessert das Schaltverhalten des elektronischen Schalters 1 sowohl im EIN-Zustand ON als auch im AUS-Zustand OFF. Sie eignet sich besonders für

eine Integration auf einem Halbleiterchip und für den Einsatz bei elektronischen Schaltern, die Transistor-Typen mit betragsmäßig kleiner Abschnürspannung verwenden.

5 Mobility-Transistoren (HEMT), welche beispielsweise Abschnürspannungen von -1 Volt aufweisen.

Fig. 7 zeigt eine schematische Darstellung einer schaltungstechnischen Realisierung des erfindungsgemäßen elektronischen Schalters 1 mit einem Operationsverstärker OA, dessen nichtinvertierender Eingang (+) über einen sechsten Widerstand R6 mit dem Eingang In verbunden ist und dessen invertierender Eingang (-) über einen vierten Widerstand R4 mit der Schalteinrichtung Sw verbunden ist, wobei die Schalteinrichtung Sw den vierten Widerstand R4 wahlweise im EIN-Zustand ON mit dem Bezugspotential Gr oder im AUS-Zustand OFF mit einer in diesem Ausführungsbeispiel positiven achten Gleichspannung V8 verbindet. Ein fünfter Widerstand R5 verbindet den mit dem Steueranschluß Con verbundenen Ausgang des Operationsverstärkers OA mit seinem invertierenden Eingang (-). Über einen siebten Widerstand R7 ist der nichtinvertierende Eingang (+) mit dem Bezugspotential Gr verbunden.

25

Die Außenbeschaltung des Eingangs In und Ausgangs Out, sowie des Source-, Gate- und Drainanschlusses (S, G, D) des ersten Feldeffekt-Transistors Q1 ist wie in den vorangegangenen Beispielen ausgeführt. Der vierte, fünfte, sechste und siebte Widerstand R4, R5, R6, R7 weisen in diesem Ausführungsbeispiel etwa gleiche Widerstandswerte auf, womit für den EIN-Zustand ON am Steuereingang Con ein nicht von einer Gleichspannung überlagertes Korrektursignal Sc anliegt. Im AUS-Zustand OFF entspricht der Spannungsverlauf des Steuersignals Vc dem Spannungsverlauf des zu schaltenden Signals Vin, überlagert von der positiven achten Gleichspannung V8.

Auch dieses Ausführungsbeispiel verbessert das Niederfrequenz-Großsignal-Verhalten des elektronischen Schalters 1 sowohl im EIN-Zustand ON als auch im AUS-Zustand OFF.

**Ansprüche**

1. Elektronischer Schalter (1), der zwei Schaltzustände (ON, OFF) einnehmen kann, mit
- 5 zumindest einem Feldeffekt-Schalt-Transistor (Q1), einem mit dem Sourceanschluß (S) des Feldeffekt-Schalt-Transistors (Q1) verbundenen Eingang (In), an dem ein zu schaltendes Signal (Vin) anliegt,
- 10 einem mit dem Drainanschluß (D) des Feldeffekt-Schalt-Transistors (Q1) verbundenen Ausgang (Out), an dem ein geschaltetes Signal (Vout) anliegt,
- 15 einem mit dem Gateanschluß (G) des Feldeffekt-Schalt-Transistors (Q1) verbundenen Steueranschluß (Con), an welchem ein den elektronischen Schalter (1) steuerndes Steuersignal (Vc) anliegt und
- 20 einer Schalteinrichtung (Sw), welche die zwei Schaltzustände (ON, OFF) durch eine Veränderung des Steuersignals (Vc) herbeiführt,  
**dadurch gekennzeichnet,**
- 25 daß das steuernde Signal (Vc) während zumindest einem der zwei Schaltzustände (ON, OFF) zumindest teilweise aus einem Korrektursignal (Sc), welches aus dem zu schaltenden Signal (Vin) erzeugt wird, gebildet ist, so daß der frequenzabhängige Spannungsabfall zwischen dem Drain-Source-Kanal und der Gate-Elektrode des Feldeffekt-Schalt-Transistors (Q1) wenigstens teilweise kompensiert ist.

2. Elektronischer Schalter nach Anspruch 1,  
**gekennzeichnet durch**
- 30 eine Umsetzeinrichtung (A), die das Korrektursignal (Sc) aus dem Signalverlauf des zu schaltenden Signals (Vin) erzeugt und die einen einstellbaren Spannungs-Verstärkungsfaktor (v), welcher insbesondere 1 beträgt, hat.
- 35 3. Elektronischer Schalter nach Anspruch 2,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Umsetzeinrichtung (A) eine niedrige Ausgangsimpedanz und eine hohe Eingangsimpedanz hat.

4. Elektronischer Schalter nach Anspruch 2 oder 3,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Umsetzeinrichtung (A) mit Feldeffekt-Transistoren  
5 (Q2, Q3), insbesondere Metall-Halbleiter-Feldeffekt-  
Transistoren (MESFET) des n-Kanal-Typs, aufgebaut ist.

5. Elektronischer Schalter nach einem der Ansprüche 1 bis  
4,  
10 **dadurch gekennzeichnet,**  
daß der Feldeffekt-Schalt-Transistor (Q1) ein Metall-  
Halbleiter-Feldeffekt-Transistor (MESFET), insbesondere  
des n-Kanal-Types und/oder auf Gallium-Arsenid-Basis  
hergestellt, oder ein High-Electron-Mobility-Transistor  
15 (HEMT) ist.

6. Elektronischer Schalter nach einem der Ansprüche 1 bis  
5,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
20 daß die Schalteinrichtung (Sw) mit von Feldeffekt-  
Transistoren, insbesondere Metall-Halbleiter-Feldeffekt-  
Transistoren (MESFET) des n-Kanal-Typs, aufgebaut ist.

7. Elektronischer Schalter nach einem der Ansprüche 1 bis  
25 6,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß durch die Schalteinrichtung (Sw) entweder eine erste  
Gleichspannung (V1) oder das Korrektursignal (Sc) mit dem  
30 Steueranschluß (Con) verbindbar ist und so die beiden  
Schaltzustände (ON, OFF) schaltbar sind.

8. Elektronischer Schalter nach Anspruch 7,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß beim Verbinden der ersten Gleichspannung (V1) mit dem  
35 Steueranschluß (Con) der AUS-Zustand (OFF) und beim  
Verbinden des Steueranschlusses (Con) mit dem  
Korrektursignal (Sc) der EIN-Zustand (ON), geschaltet ist.

9. Elektronischer Schalter nach Anspruch 7 oder 8,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die erste Gleichspannung (V1) kleiner bzw. negativer ist als die Abschnürspannung (Pinch-off-Spannung) des Feldeffekt-Schalt-Transistors (Q1).

5

10. Elektronischer Schalter nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß durch die Schalteinrichtung (Sw) entweder eine mit dem Korrektursignal (Sc) überlagerte erste Gleichspannung (V1) oder eine mit dem Korrektursignal (Sc) überlagerte zweite Gleichspannung (V2) mit dem Steueranschluß (Con) verbindbar ist und so die beiden Schaltzustände (ON, OFF) schaltbar sind.

15

11. Elektronischer Schalter nach Anspruch 10,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß beim Verbinden der mit dem Korrektursignal (Sc) überlagerten ersten Gleichspannung (V1) mit dem Steueranschluß (Con) der AUS-Zustand (OFF) und beim Verbinden der mit dem Korrektursignal (Sc) überlagerten zweiten Gleichspannung (V2) mit dem Steueranschluß (Con) der EIN-Zustand (ON) geschaltet ist.

25 12. Elektronischer Schalter nach Anspruch 10 oder 11,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die erste Gleichspannung (V1) kleiner bzw. negativer als die Abschnürspannung (Pinch-off-Spannung) des Feldeffekt-Schalt-Transistors (Q1) ist und/oder die zweite Gleichspannung (V2) etwa gleich dem Bezugspotential (Gr) des elektronischen Schalters (1) ist.

13. Elektronischer Schalter nach einem der Ansprüche 7, 8 oder 9,

35 **dadurch gekennzeichnet,**

daß der Steueranschluß (Con) mit dem Sourceanschluß (S2) eines zweiten Feldeffekt-Transistors (Q2) und mit dem Drainanschluß (D3) eines dritten Feldeffekt-Transistors (Q3) verbunden ist, der Gateanschluß (G3) und der

Sourceanschluß (S3) des dritten Feldeffekt-Transistors (Q3) mit einer fünften Gleichspannung (V5) verbunden sind, welche kleiner ist als ein Bezugspotential (Gr), der Gateanschluß (G2) des zweiten Feldeffekt-Transistors (Q2) über einen Vorwiderstand (RG1) mit dem Eingang (In) verbunden ist, und der Drainanschluß (D2) des zweiten Feldeffekt-Transistors (Q2) über die Schalteinrichtung (Sw) wahlweise mit einer zu dem Bezugspotential (Gr) positiven dritten Gleichspannung (V3) oder negativen 10 vierten Gleichspannung (V4) verbunden ist.

14. Elektronischer Schalter nach Anspruch 13,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der zweite und dritte Feldeffekt-Transistor (Q2, Q3)  
15 gleiche elektrische Kennlinien aufweisen.

15. Elektronischer Schalter nach einem der Ansprüche 10,  
11 oder 12,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
20 daß der Steueranschluß (Con) mit dem Drainanschluß (D3) eines dritten Feldeffekt-Transistors (Q3) und mit einem ersten Pol eines ersten Widerstandes (R1) verbunden ist, ein zweiter Pol des ersten Widerstandes (R1) mit dem Sourceanschluß (S2) eines zweiten Feldeffekt-Transistors  
25 (Q2) verbunden ist, der Drainanschluß (D2) des zweiten Feldeffekt-Transistors (Q2) mit einer positiven sechsten Gleichspannung (V6) verbunden ist, der Gateanschluß (G2) des zweiten Feldeffekt-Transistors (Q2) mit dem Eingang (In) verbunden ist, der Gateanschluß (G3) des dritten  
30 Feldeffekt-Transistor (Q3) mit einer negativen siebten Gleichspannung (V7), einem ersten Pol eines zweiten Widerstands (R2) und der Schalteinrichtung (Sw) verbunden ist, über die Schalteinrichtung (Sw) der erste Pol des zweiten Widerstands (R2) mit einem ersten Pol eines  
35 dritten Widerstands (R3) verbindbar ist und der zweite Pol des dritten Widerstands (R3) mit dem zweiten Pol des zweiten Widerstands (R2) gemeinsam auf den Sourceanschluß (S3) des dritten Feldeffekt-Transistors (Q3) geführt ist.

16. Elektronischer Schalter nach Anspruch 15,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß durch die Zusammenschaltung der ersten Pole des zweiten und dritten Widerstands (R2, R3) durch die 5 Schalteinrichtung (Sw) der AUS-Zustand (OFF) herbeigeführt wird.

17. Elektronischer Schalter nach Anspruch 15 oder 16,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
10 daß der zweite und dritte Feldeffekt-Transistor (Q2, Q3), sowie der erste und zweite Widerstand (R1, R2) gleiche elektrische Kennlinien aufweisen.

18. Elektronischer Schalter nach einem der Ansprüche 1 bis 15 17,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß alle Feldeffekt-Transistoren (Q1, Q2, Q3) selbstleitend (normally-on) sind.

19. Elektronischer Schalter nach einem der Ansprüche 1 bis 20 6,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der Eingang (In) über einen sechsten Widerstand (R6) auf einen nichtinvertierenden Eingang (+) eines 25 Operationsverstärkers (OA) geführt ist, die Schalteinrichtung (Sw) über einen vierten Widerstand (R4) entweder ein Bezugspotential (Gr) oder eine achte Gleichspannung (V8) auf den invertierenden Eingang (-) schaltet, um die Schaltzustände (ON, OFF) herbeizuführen, 30 ein fünfter Widerstand (R5) den invertierenden Eingang (-) mit dem Ausgang des Operationsverstärkers (OA) verbindet, der Ausgang des Operationsverstärkers (OA) mit dem Steueranschluß (Con) verbunden ist und ein siebter Widerstand (R7) den nichtinvertierenden Eingang (+) mit 35 dem Bezugspotential (Gr) verbindet.

20. Elektronischer Schalter nach Anspruch 19,  
**dadurch gekennzeichnet,**

daß der vierte, fünfte, sechste und siebte Widerstand (R4, R5, R6, R7) etwa gleiche Widerstandswerte aufweisen.

21. Elektronischer Schalter nach Anspruch 20 oder 21,  
5 **dadurch gekennzeichnet,**  
daß der EIN-Zustand (ON) durch das Verbinden des vierten  
Widerstandes (R4) mit dem Bezugspotential (Gr) geschaltet  
ist und der AUS-Zustand (OFF) durch das Verbinden des  
vierten Widerstandes (R4) mit der achten Gleichspannung  
10 (V8) geschaltet ist.

22. Elektronischer Schalter nach einem der Ansprüche 19  
bis 21,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
15 daß die achte Gleichspannung (V8) gegenüber dem  
Bezugspotential (Gr) positiv ist.

**Zusammenfassung**

Ein elektronischer Schalter (1) mit zwei Schaltzuständen (ON, OFF) weist zumindest einen Feldeffekt-Schalttransistor (Q1), einen mit dem Sourceanschluß (S) verbundenen Eingang (In), an dem ein zu schaltendes Signal ( $V_{in}$ ) anliegt, einen mit dem Drainanschluß (D) verbundenen Ausgang (Out), an dem ein geschaltetes Signal ( $V_{out}$ ) anliegt, einen mit dem Gateanschluß (G) verbundenen Steueranschluß (Con), an welchem ein den elektronischen Schalter (1) steuerndes Steuersignal ( $V_c$ ) anliegt und eine Schalteinrichtung (Sw), welche die zwei Schaltzustände (ON, OFF) durch eine Veränderung des Steuersignals ( $V_c$ ) herbeiführt, auf. Das steuernde Signal ( $V_c$ ) wird während zumindest einem der zwei Schaltzustände (ON, OFF) zumindest teilweise aus einem Korrektursignal ( $S_c$ ) gebildet, welches aus dem zu schaltenden Signal ( $V_{in}$ ) erzeugt wird, so daß der frequenzabhängige Spannungsabfall zwischen dem Drain-Source-Kanal und der Gate-Elektrode des Feldeffekt-Schalt-Transistors (Q1) wenigstens teilweise kompensiert wird.

(Fig. 4)

1/4

Fig. 1

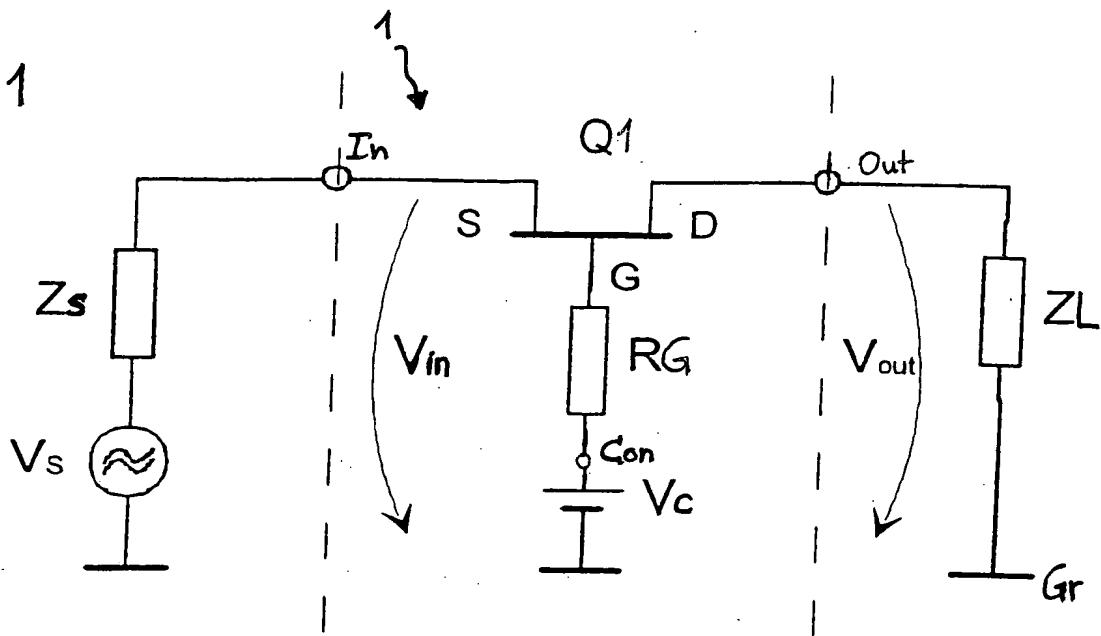
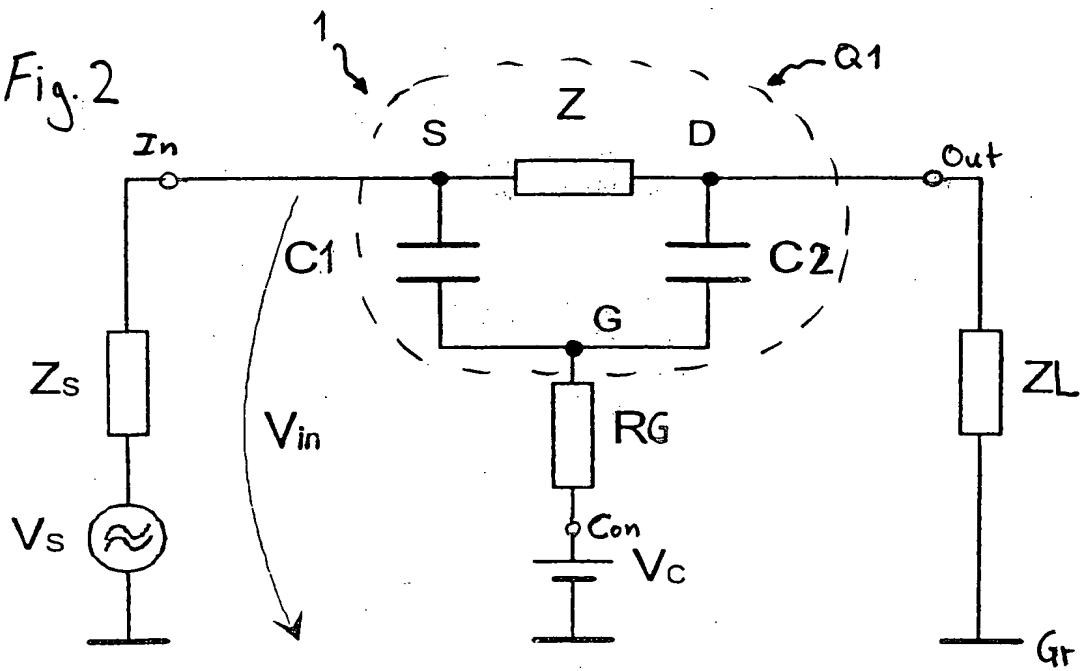


Fig. 2



2/4

Fig. 3

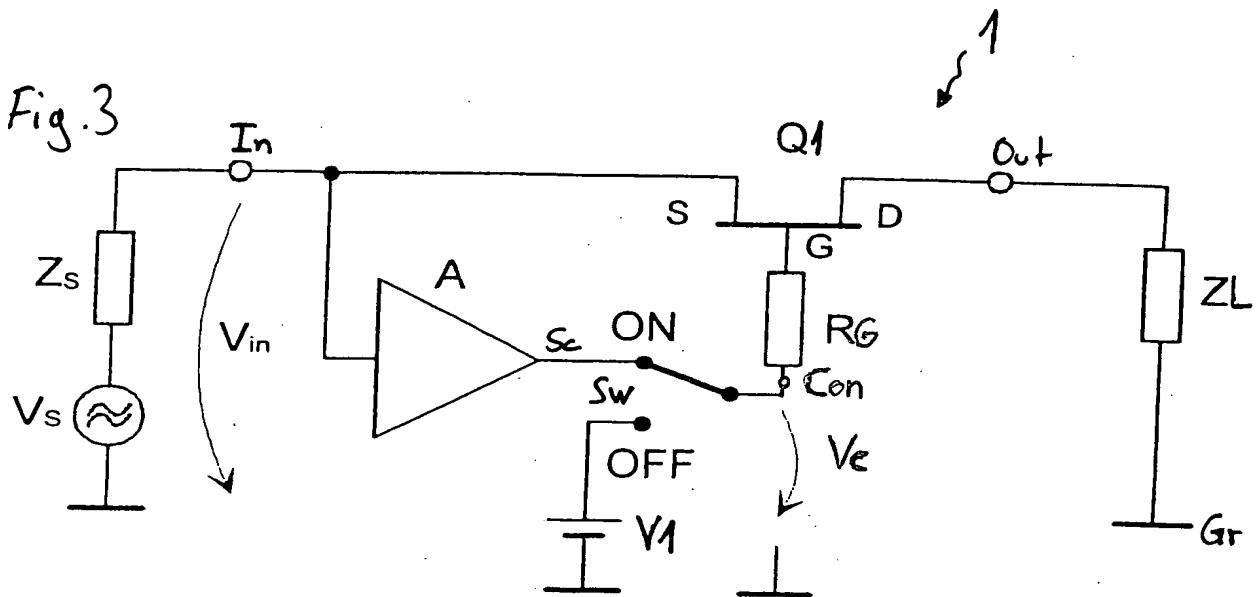
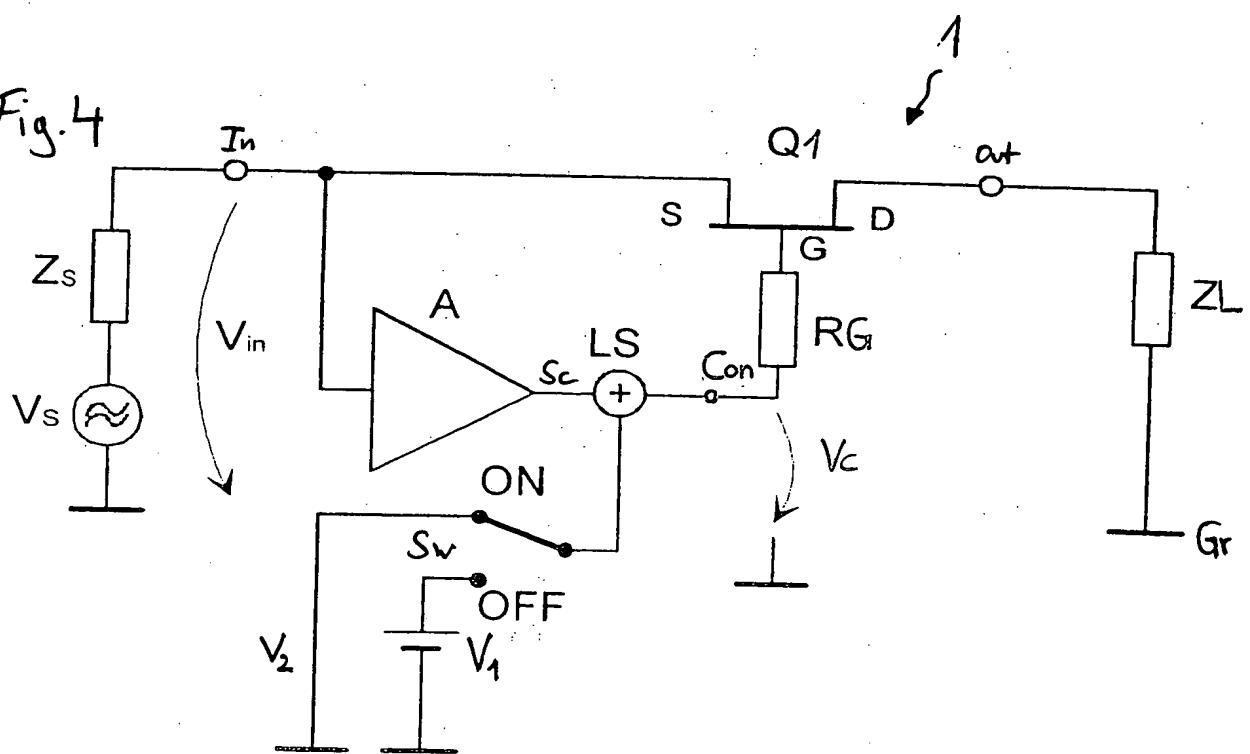


Fig. 4



3/4

Fig.5

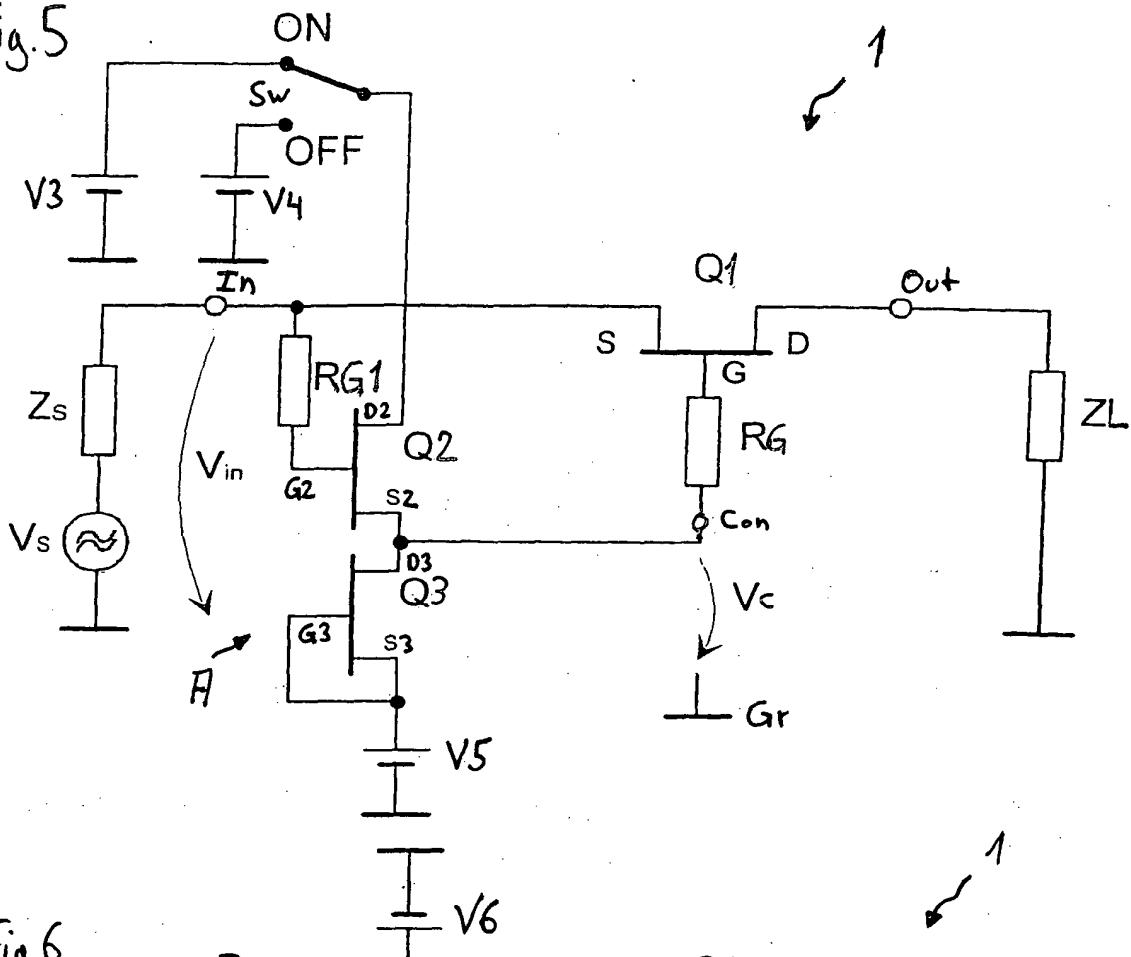
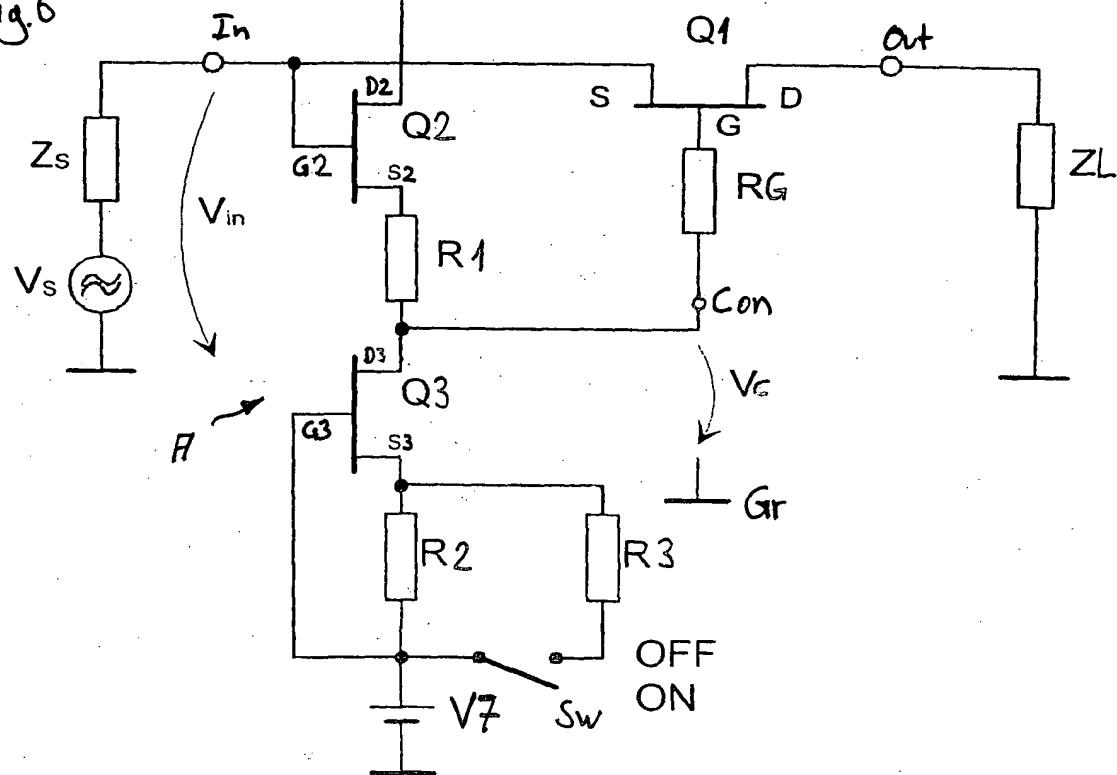


Fig.6



4/4

Fig. 7

